



Evolution du phénomène d'affaissement pendant et après l'exploitation totale de couches de charbon

Francis Wojtkowiak

► To cite this version:

Francis Wojtkowiak. Evolution du phénomène d'affaissement pendant et après l'exploitation totale de couches de charbon. Conférence mondiale sur le développement durable des anciens pays charbonniers "l'Après-Charbon", Mar 1997, Lille, France. ineris-00972120

HAL Id: ineris-00972120

<https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-00972120>

Submitted on 3 Apr 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

EVOLUTION DU PHENOMENE D'AFFAISSEMENT PENDANT ET APRES L'EXPLOITATION TOTALE DE COUCHES DE CHARBON

Francis WOJTKOWIAK

Délégué "Mines et travaux souterrains"
à la Direction Scientifique de l'INERIS

1. INTRODUCTION

Avant d'aborder la question de l'évolution de l'affaissement pendant l'exploitation et la durée de répercussion de ces affaissements miniers après l'arrêt des exploitations, il est nécessaire de rappeler ici quelques notions sur le phénomène d'affaissement minier et surtout de définir les principaux termes de vocabulaire employés tout au long de cet exposé ^(*).

Toute exploitation minière souterraine modifie l'équilibre des terrains autour de la zone d'extraction. Les couches de terrain situées immédiatement au-dessus de la veine exploitée (bas-toit) se rompent, provoquant ainsi le fléchissement et la décompression des terrains sus-jacents. Les déplacements ainsi induits au sein du massif se propagent et finissent par se transmettre en surface où il y a création d'une dépression appelée **cuvette d'affaissement** (figure 1).

Le mouvement des points en surface, situés dans la zone influencée par l'exploitation, peut être décomposé en un déplacement suivant la verticale, c'est l'**affaissement** proprement dit, et en un déplacement dans le plan horizontal. Les différences de déplacement entre points voisins engendrent des déformations ou déplacements différentiels du sol. Dans le cas où la variation de distance entre deux points voisins est positive, on a affaire à une extension et, dans le cas contraire (variation négative), à un raccourcissement qui se traduisent respectivement par des tractions et des compressions.

La cuvette d'affaissement déborde largement de la surface déhouillée mais son volume reste, en général, inférieur au volume extrait en raison du foisonnement des terrains. La figure 1 visualise la géométrie de la cuvette, depuis le point d'affaissement maximum jusqu'au point d'affaissement négligeable, situé hors de la zone des travaux miniers. La limite de cette cuvette détermine dans le plan horizontal une courbe fermée centrée sur le barycentre des travaux. On appelle **angle limite** ou **angle d'influence** (figure 1), l'angle γ formé par la verticale élevée dans un plan perpendiculaire en un point situé à la limite des travaux et la ligne qui joint ce point à celui de la surface où les mouvements deviennent négligeables. Cet angle d'influence détermine donc l'extension de la cuvette d'affaissement. Une autre grandeur mesure l'**amplitude de l'affaissement**. L'expérience montre qu'à une profondeur donnée, une excavation de petite dimension n'engendrera que peu ou pas d'affaissements en surface. C'est le cas, par exemple, au début de l'exploitation d'une veine en terrains vierges.

^(*) Pour plus de détails, le lecteur se reportera à la communication du Professeur J.P. PIGUET (1997) intitulée "Affaissements et déformations au-dessus des exploitations minières : mécanismes, conséquences et facteurs influents" présentée également au cours de cette conférence mondiale sur le développement durable des anciens pays charbonniers.

Au fur et à mesure de l'avancement de la zone déhouillée, l'affaissement augmente puis se stabilise à une valeur appelée **affaissement maximal** A_m . Pour une profondeur donnée, l'affaissement maximal n'est obtenu que si le panneau exploité atteint une aire minimale. Elle est appelée **aire critique** quand un seul point atteint l'affaissement maximal. Elle est qualifiée de sous-critique ou de super-critique lorsque respectivement aucun point ou, au contraire, plusieurs points de la surface du sol subissent l'affaissement maximal (cuvette à fond plat). A une profondeur H , une surface exploitée atteint l'aire critique lorsque toutes ses dimensions sont au moins égales à $2 H \tan \gamma$, soit $1,4 H$ pour la valeur de l'angle d'influence de 35° généralement mesurée dans le bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais (figure 2).

Dans la suite de cet exposé, nous nous intéresserons plus particulièrement à l'amplitude et à la durée de l'affaissement constaté en un point de la surface, entre le moment où l'exploitation pénètre dans l'aire d'influence de ce point et celui où elle en sort totalement.

Nous focaliserons ensuite notre attention sur l'évolution des affaissements miniers après l'arrêt définitif des exploitations et sur les causes exogènes susceptibles d'induire une reprise d'affaissement. Par contre, nous nous limiterons au cas des exploitations totales, par remblayage ou foudroyage, pour lesquelles le déhouillement des panneaux est complet et les vides miniers résiduels négligeables.

Nous n'aborderons donc pas ici le cas des exploitations dites partielles, notamment celles mettant en oeuvre la méthode d'exploitation par chambres et piliers abandonnés, au sein desquelles subsistent des vides importants dont l'état de stabilité à long terme n'est pas toujours garanti (Y. PAQUETTE, 1997).

2. EVOLUTION DE L'AFFAISSEMENT DANS LE TEMPS, PENDANT ET APRES EXPLOITATION

A partir du moment où une exploitation (taille) pénètre dans l'aire qui influence un point considéré de la surface du sol, l'évolution de l'affaissement de ce point dans le temps est liée :

- à l'avancement du front d'exploitation, qui entraîne une modification de la géométrie de l'exploitation avec un accroissement de ses dimensions,
- au comportement des terrains sus-jacents qui transmettent les mouvements du fond jusqu'au jour (surface).

La figure 3 illustre deux exemples de courbe d'évolution de l'affaissement dans le temps d'un point de la surface lorsqu'une taille pénètre dans l'aire d'influence relative à ce point (point origine O des deux courbes). Les points A et A' correspondent à la date de sortie de la taille de l'aire d'influence. Les parties OA et OA' des courbes résultent de la double influence du facteur temps, qui intervient à la fois dans l'augmentation de la surface exploitée et dans la transmission des mouvements du fond au jour. Le retard d'affaissement des terrains de recouvrement par rapport au démarrage des travaux est illustré plus particulièrement par la courbe 2 comparée à la courbe 1. Ce retard peut avoir plusieurs origines parmi lesquelles on peut citer : la plus grande stabilité du chantier avant le foudroyage, la rupture moins rapide et la chute graduelle du bas-toit, la compaction lente du remblayage ou des terrains foudroyés et foisonnés. Les parties AB et A'B' des courbes correspondent uniquement au délai de transmission des mouvements du fond au jour puisqu'aux points A et A', les travaux miniers sont sortis de l'aire qui influence le point considéré.

Ce délai est dû aux phénomènes affectant le recouvrement et qui dépendent du temps proprement dit, à savoir : la transmission des contraintes dans les bancs du haut-toit, leur mise en charge progressive, la formation de vides entre les couches et les cisaillements suivants les plans de stratification et autres discontinuités du massif.

D'une manière générale, et sans hiérarchisation, la durée de l'affaissement d'un point de la surface dépend de :

- la distance de l'aplomb du point considéré par rapport au bord de la taille,
- l'étendue de la surface déhouillée,
- la vitesse d'avancement du front d'extraction,
- les conditions d'exploitation (profondeur, ouverture de la couche, dimensions du panneau, ...),
- la méthode d'exploitation et le mode de traitement de l'arrière-taille,
- l'épaisseur, la nature lithologique, la structure, la fracturation naturelle et la résistance mécanique des terrains de recouvrement,
- la présence d'anciens travaux miniers dans les terrains sus-jacents.

Notons que dans certains bassins, en raison des dimensions des exploitations et de la nature, à l'origine, peu compétente (plastique) des terrains de recouvrement ou lorsque ceux-ci ont été remaniés par des déhouilllements anciens et multiples, les affaissements suivent de très près les travaux du fond (courbe 1 de la figure 3). Dans le cas de travaux miniers entrepris sous des terrains déjà affaissés par d'anciennes exploitations, G. TISON (1946) parlait de **réveil d'affaissement** se manifestant quelquefois à la surface du sol en moins d'un mois, par ressauts violents, et de durée plus courte comparativement à une exploitation en terrains vierges.

Il est d'usage de distinguer trois grandes phases dans les courbes d'évolution de l'affaissement d'un point P de la surface en fonction du temps et, par conséquent, de l'importance de l'aire déhouillée :

1. La phase I, dite **phase d'affaissement initial**, qui correspond à la période pendant laquelle le front d'extraction pénètre dans l'aire qui influence un point P et passe à l'aplomb de celui-ci. D'après les observations et mesures effectuées dans les bassins houillers anglais (NCB, 1975) et allemands (KRATZSCH, 1983), l'amplitude de l'affaissement pendant cette phase ne représente que 10 à 15 % de l'affaissement total.
2. La phase II, dite **d'affaissement principal, ou accéléré ou dynamique**, correspond à la période d'affaissement pendant laquelle le front d'extraction s'éloigne du point P jusqu'à ce qu'il sorte de l'aire qui influence ce point. Dans la plupart des bassins houillers européens, plus de 90 % de l'amplitude de l'affaissement final sont alors obtenus au point P.
3. La phase III, dite **d'affaissement résiduel**, qui ne représente que quelques pour-cent de l'amplitude de l'affaissement final, et correspond à la part de l'affaissement observé **après** l'arrêt définitif des travaux miniers ou, plus simplement, à partir du moment où le point P n'est plus du tout affecté par une exploitation souterraine quelle qu'elle soit.

La définition de l'affaissement résiduel a été donnée pour la première fois par ORCHARD et ALLEN (1974) : il s'agit de la phase finale de l'affaissement, dépendante du temps, qui se poursuit après l'arrêt définitif des travaux miniers ou lorsque la taille est complètement sortie de l'aire qui influence le point considéré.

Les phases I et II caractérisent ce qui est qualifié par de nombreux auteurs de **phase active** de l'affaissement, pour mieux les distinguer de la phase III plus caractéristique du **comportement rhéologique** des terrains sous-minés.

La figure 4 représente l'affaissement du point P en fonction du temps en reportant en ordonnée l'affaissement subi par ce point à un instant donné, rapporté à son affaissement final et exprimé en pour-cent, et en abscisse, l'avancement du front d'abattage rapporté à la profondeur des travaux. Cette courbe a été établie à partir d'un grand nombre d'observations et de mesures effectuées dans les différents bassins houillers anglais (NCB, 1975) pour des exploitations de largeur critique à sur-critique et situées entre 300 et 600 m de profondeur sous la surface. Cette figure illustre bien les propos précédents. Elle montre clairement que l'affaissement ne se produit pas dès la pénétration de la taille dans l'aire qui influence un point. L'affaissement des terrains de recouvrement est en effet retardé par le fait que l'exploitation reste stable tant qu'elle n'a pas atteint des dimensions suffisantes, à la profondeur considérée, pour provoquer la rupture du bas-toit et le foudroyage des terrains sus-jacents. Lorsque la taille passe à l'aplomb du point P, l'amplitude de l'affaissement de ce point ne représente que 16 % environ de son affaissement total (20 % au maximum dans le cas d'une exploitation avec remblayage pneumatique). Par contre, lorsque la taille sort de l'aire d'influence du point P, celui-ci a déjà subi près de 97 % de l'affaissement final. En d'autres termes, si ce point n'est plus influencé par la suite par d'autres exploitations souterraines, il continuera à s'affaisser mais cet affaissement résiduel ne représentera que 3 % de l'affaissement total du point P.

Cette conférence étant consacrée au développement durable des anciens pays charbonniers, autrement dit à "l'après charbon", nous nous intéressons donc, dans la suite de cet exposé, plus particulièrement à la phase d'affaissement résiduel.

3. AMPLITUDE ET DUREE DE REPERCUSSION DE L'AFFAISSEMENT RESIDUEL

La durée de la phase d'affaissement résiduel a été étudiée par différents auteurs, mais les estimations fournies par ceux-ci ne reposent que pour une très faible part sur des mesures topométriques et des observations réalisées directement sur le terrain en raison, en particulier, de la longueur de la période d'observation et de la précision requises pour ces mesures.

Nous avons rassemblé, dans le tableau ci-après, les données bibliographiques recueillies et relatives à la durée, et le cas échéant, à l'amplitude de la phase d'affaissement résiduel. Elles ne concernent, bien sûr, que des exploitations par longues tailles foudroyées ou remblayées.

De l'expérience étrangère, et notamment de celle issue des Charbonnages anglais, WHITTAKER et REDDISH (1989) soulignent que la phase d'affaissement résiduel a, dans la majorité des cas, une durée de l'ordre de 12 à 18 mois, mais ils notent aussi, qu'assez souvent, cette durée est moins longue, c'est-à-dire de l'ordre de 3 à 4 mois. A l'inverse, il existe quelques cas isolés résultant de situations géologiques et/ou minières particulières, pour lesquels la durée de l'affaissement résiduel a été beaucoup plus longue et s'est étalée sur une période de 4 à 6 ans. Enfin, ils font remarquer que les effets de l'affaissement résiduel sont maximum immédiatement après l'arrêt définitif de l'exploitation, et que l'amplitude décroît ensuite de manière exponentielle en fonction du temps.

Tableau : Amplitude et/ou durée de la phase d'affaissement résiduel comparées éventuellement à celles de l'affaissement global, dans différents bassins houillers français et étrangers

Situation	Conditions minières	Affaissement résiduel	Référence
Royaume-Uni (plusieurs bassins)	longues tailles, recouvrement plastique	quelques mois à 12 mois pour 5-6 % de l'amplitude totale	Whittaker et Reddish (1989)
Royaume-Uni (Durham Coalfield)	2 exploitations par longues tailles (1 et 2), recouvrement très résistant	1) 6 ans pour 94 mm (9 % de l'amplitude totale), dont 89 mm les 4 premières années. 2) 44 mois pour 33 mm (6,8 % de l'amplitude totale) dont 16 mm les trois premiers mois	Orchard et Allen (1974)
Royaume-Uni (Sud du Pays de Galles)	5 exploitations par longues tailles foudroyées	24 à 54 mois pour 9 mm à 68 mm (36 à 72 mois pour l'affaissement total)	Collins (1974)
Allemagne Occidentale	nombreuses exploitations par longues tailles foudroyées	5 ans, mais 75 % de l'affaissement résiduel sont acquis la 1ère année 6 mois à 5 ans	Fläschenträger (1957) Kratzsch (1983)
Australie	longues tailles foudroyées	3 mois, pour 200 jours d'affaissement total	Whittaker et Reddish (1989)
Inde	longues tailles : - en terrains vierges, - en terrains déjà déhouillés.	300 à 500 jours (10 à 30 % de l'affaissement total). 50 à 100 jours (5 à 10 % de l'affaissement total).	Singh et Saxena (1989) Saxena (1991)
Etats Unis	longues tailles	17 mois pour 130 mm (12 % de l'affaissement total) dont 106 mm le 1er mois	Hasenfus et al. (1988)
France Nord-Pas-de-Calais Albi-Carmaux	recouvrement plastique, déhouilllements anciens et multiples	3 à 4 ans (99 % de l'affaissement total sont obtenus au bout de 18 mois à 2 ans après l'arrêt des travaux).	Proust (1964) Decherf (1973) Decherf et al (1980) INERIS (1997)
Provence, Lorraine et Blanzay	recouvrement compétent déhouilllements anciens et multiples	2 à 3 ans	Arcamone (1980) INERIS (1997)

En terme d'amplitude, il est largement admis par l'ensemble des auteurs français et étrangers que l'affaissement résiduel ne représente en général que 5 à 7 % (10 % au maximum) de l'amplitude globale de l'affaissement. D'autre part, il s'effectue en grande partie durant les 3 ou 4 premiers mois qui suivent l'arrêt définitif de l'exploitation, de sorte que, au terme de la première année, au moins 75 % de l'amplitude de l'affaissement résiduel sont réalisés. Les suivis des bases de nivellement, effectués encore aujourd'hui pour le compte de Charbonnages de France dans le Nord et par les services techniques des exploitations dans les autres bassins houillers français, confirment l'ensemble des conclusions précédentes. La durée de la phase d'affaissement résiduel excède en effet rarement plus de 2 ans : des durées de répercussion plus longues des affaissements miniers (4 à 5 ans) résultent de situations particulières et constituent des cas isolés. On notera aussi que dans les deux ou trois dernières années des phases d'affaissement résiduel les plus longues, l'amplitude de l'affaissement est négligeable et n'affecte pas les installations et constructions en surface car les déformations horizontales du sol, qui sont les plus préjudiciables aux installations de surface, sont pratiquement nulles.

L'amplitude de l'affaissement résiduel en un point donné de la cuvette d'affaissement est, bien sûr, dépendante de la distance séparant ce point du point situé à l'aplomb du bord de taille. Suivant un profil longitudinal perpendiculaire au front d'abattage (figure 5), l'amplitude de l'affaissement résiduel, rapportée ou non à celle de l'affaissement final, est maximale au voisinage du point d'inflexion de la cuvette d'affaissement, situé à l'aplomb du bord de taille. De part et d'autre de ce point singulier, appelé point de transition ou de demi-affaissement ($Am/2$), l'amplitude de l'affaissement résiduel décroît de manière significative. C'est également ce point qui s'affaisse le plus rapidement dès l'arrêt de la taille (ORCHARD et ALLEN, 1974). Par contre, YAO et REDDISH (1994) soulignent que, suivant un profil transversal parallèle au front d'abattage (figure 1), l'amplitude maximale de l'affaissement résiduel est mesurée au centre du panneau. Si cette amplitude est exprimée en pourcentage de l'affaissement final du point considéré, le pourcentage le plus élevé est en revanche constaté en bordure de cuvette d'affaissement. Ces derniers auteurs précisent également que la durée de l'affaissement résiduel croît avec la profondeur des exploitations et/ou lorsque la vitesse d'avancement de la taille diminue.

La nature des terrains de recouvrement, et donc leur comportement mécanique, influence également le phénomène d'affaissement et notamment la durée des différentes phases d'affaissement. Ainsi, pour des recouvrements dits "plastiques" constitués, par exemple, de marnes, argiles, craies, sables, etc., la phase active de l'affaissement est plus rapide, d'amplitude et d'emprise en surface plus importantes, mais la phase résiduelle est plus longue. C'est le cas notamment du bassin du Nord et du Pas-de-Calais où une stabilisation des affaissements résiduels est observée au bout de 4 ou 5 ans. A contrario, plus le recouvrement est rigide (grès, calcaires massifs), plus la transmission des mouvements à la surface est lente avec une amplitude amortie pendant la phase active, alors que la phase d'affaissement résiduel est stabilisée au bout de 2 à 3 ans (cas des bassins houillers de Provence et de Lorraine).

En tenant compte des deux principaux facteurs influençant la durée de l'affaissement résiduel, à savoir la profondeur de l'exploitation et la nature des terrains de recouvrement, YAO et REDDISH (1994) ont établi une équation empirique et les abaques correspondants permettant de déterminer cette durée. La nature du recouvrement est qualifiée ici par le pourcentage de roches dures et résistantes (résistance à la compression simple supérieure à 45 MPa) constituant les terrains sus-jacents. Ceci dit, quelle que soit la nature des terrains sus-jacents, lorsque l'exploitation intéresse des terrains de recouvrement déjà perturbés par d'anciens et multiples déhouillements, les effets en surface des mouvements de terrains qu'elle induit sont pratiquement "instantanés" et la durée de la phase d'affaissement résiduel est, de même, plus rapide et plus courte, de l'ordre de quelques mois.

4. CAUSES EXOGENES DE REPRISE D'AFFAISSEMENT

Compte tenu de l'amplitude et, par conséquent, de la vitesse d'évolution très faibles de l'affaissement en phase résiduelle, de nombreux auteurs (KNUFINKE, 1994 ; BAUER et al, 1992) ont déjà souligné combien il était difficile d'appréhender et d'interpréter des mouvements verticaux du sol de faible amplitude (d'ordre millimétrique) mis en évidence par des nivellements successifs. En effet, quelle que soit la précision des mesures topométriques réalisées, il s'avère délicat de faire la part des choses entre ce qui est dû à l'affaissement minier résiduel et ce qui est imputable à d'autres causes naturelles, d'origine profonde ou superficielle. N'oublions pas non plus que ces causes naturelles peuvent voir leurs effets accentués, prolongés, voire aggravés par l'activité de l'homme autre que minière (pompages d'eau potable ou industrielle par exemple), ou tout simplement du fait des variations climatiques saisonnières ou de conditions météorologiques exceptionnelles de longue durée (par exemple, le déficit pluviométrique constaté dans certaines régions de France entre les années 1989 et 1994). Ainsi, des mouvements verticaux du sol (tassement mais aussi soulèvement), de même ordre de grandeur que l'amplitude des affaissements résiduels, sont induits par les variations saisonnières ou annuelles de la teneur en eau des terrains superficiels et de la température (effet du gel), le battement naturel du niveau des nappes phréatiques ou leur rabattement par pompage, etc.

Ceci dit, des phénomènes de reprise d'affaissement peuvent se produire sous l'effet de causes exogènes telles que :

- l'ouverture ou la reprise d'exploitations minières souterraines proches,
- l'application de surcharges en surface induites, par la construction de bâtiments importants et lourds,
- la remontée des eaux dans les travaux miniers consécutive à l'arrêt des pompages d'exhaure.

Dans ces trois cas, le phénomène de reprise d'affaissement se traduit, sur les courbes d'évolution de l'affaissement des points considérés en fonction du temps, par une brutale et importante variation de l'amplitude et/ou de la vitesse d'évolution (accélération marquée du phénomène).

La reprise d'affaissement induite par les exploitations minières proches est un phénomène bien connu des exploitants et n'est pas l'objet de notre propos.

Les effets de la remontée des eaux et des surcharges dues à l'urbanisation future des régions sous-minées ne sont à retenir que dans le cas d'exploitations situées à faible profondeur et/ou dans des contextes miniers particuliers. En effet, les surcharges dues à la construction de bâtiments importants peuvent provoquer des phénomènes de tassement différentiel du sol à l'aplomb d'exploitations peu profondes (quelques dizaines de mètres) à condition que celles-ci se trouvent dans la zone d'influence des fondations de ces ouvrages. Ce risque de tassement différentiel concerne donc surtout les ouvrages fondés sur des pieux profonds. De tels ouvrages faisant obligatoirement l'objet d'une reconnaissance géotechnique préalable des terrains de fondation, on peut considérer qu'un risque non identifié de reprise d'affaissement est nul.

La remontée des eaux consécutive à l'arrêt des pompages d'exhaure pourrait, à ce jour, avoir un impact négatif sur la stabilité d'exploitations peu profondes, fortement pentées et remblayées. En effet, dans ces conditions, des fontis sont susceptibles d'apparaître au-dessus des vides créés par le déboufrage des remblais. Néanmoins, la remontée des eaux dans les

bassins houillers, aujourd'hui noyés, n'a pas provoqué de désordres, ni d'instabilités en surface. C'est notamment le cas des bassins d'Alès et de Saint-Etienne, des parties orientale et occidentale du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais, ainsi que du secteur de Faulquemont dans le bassin lorrain. Les exploitations partielles, par la méthode des chambres et piliers abandonnés, se sont révélées parfois plus sensibles aux phénomènes induits par la remontée des eaux que les exploitations totales traitées ici (cas du poinçonnement des piliers dans le mur, par exemple ou d'affaiblissement de la résistance des piliers).

5. CONCLUSION

Le phénomène d'affaissement pendant l'exploitation et après l'arrêt définitif des travaux miniers a fait l'objet de nombreuses études, tant en France qu'à l'étranger, ce qui a permis de parfaire la connaissance et la compréhension des mécanismes mis en jeu et ainsi d'améliorer les outils de prévision des affaissements miniers à court et à long terme.

L'amplitude de la phase d'affaissement résiduel, observée après l'arrêt définitif de l'exploitation, ne représente que 7 à 10 % de l'affaissement total. D'autre part, une grande partie de l'affaissement résiduel est en général acquise au cours des douze premiers mois qui suivent la fin des travaux. Au-delà de cette période, la phase d'affaissement résiduel peut se poursuivre sur quelques années encore (4 à 5 ans), mais de façon uniforme, lente et régulière, avec une amplitude qui n'excède pas, en moyenne, quelques millimètres par an. Vis-à-vis des infrastructures, des ouvrages d'art, des bâtiments et d'autres constructions, ce ne sont pas tant les affaissements que les déformations du sol qui sont les plus à craindre. Or, les déformations, au cours de cette très lente subsidence uniforme qui caractérise la phase d'affaissement résiduel, sont très petites, voire négligeables et donc sans effet sur la stabilité des terrains de surface.

6. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ARCAMONE J. (1980).

Méthodologie d'étude des affaissements miniers en exploitations totale et partielle.

Application au cas des Houillères de Provence.

Mémoire de thèse de docteur ingénieur, Institut National Polytechnique de Lorraine, Ecole des Mines de Nancy, juin 1980, 100 p.

BAUER R.A, VAN ROOSEDAAL D.J. (1992).

Monitoring problems ; are we really measuring coal mine subsidence. *3rd Subsidence workshop due to underground mining*, Morgantown, USA, 1992, pp. 332-339.

COLLINS B.J. (1977).

Measurement and analysis of residual mining subsidence movements.

In: *Large ground movements and structures*, Pentech Press, London, 3-29.

DECHERF J. (1973).

Durée de répercussion des affaissements miniers. Journée des dégâts miniers organisée par l'INIEX, Liège, 11 avril 1973.

Annales des Mines de Belgique, n° 9, Septembre 1973, 1017-1038.

DECHERF J., A. VANDEWALLE, A. CARON (1980).

Le problème des affaissements miniers dans le bassin du Nord-Pas-de-Calais.

Revue de l'Industrie Minérale, mai 1980, 295-313.

FLÄSCHENTRÄGER H. (1957).

Considerations on ground movement phenomena based on observations made in the left bank Lower Rhine region.

Proc. European Congress on Ground Movement, Leeds, 1957, 58-73.

GRARD C. (1969).

Les affaissements miniers et les moyens permettant de limiter leurs effets à la surface du sol.

Revue de l'Industrie Minérale, 51, n° 1, janvier 1969, 35-70.

HASENFUS G.J., K.L. JOHNSON, D.W.H. SU (1988).

A hydrogeomechanical study of overburden aquifer response to longwall mining.

7th Int. Conf. on Ground Control in Mining, Morgantown, August 1988, 149-162.

HOUILLERES DU BASSIN DE LORRAINE (HBL) - Service des dégâts miniers (1986).

Les dégâts de surface provoqués par les exploitations souterraines de charbon. Mesures préventives et correctives pour minimiser les effets.

Industrie Minérale - Mines et Carrières - Les Techniques, juin 1986, 267-282.

INERIS (1997).

Rapports d'études sur l'analyse des effets en surface des travaux miniers souterrains dans les concessions d'Albi-Carmaux (Tarn) et de Blanzy-Montceau-les-Mines (Saône et Loire) établis dans le cadre de l'établissement des dossiers de demande d'arrêt définitif des travaux dans ces concessions.

KNUFINKE P. (1994).

Zum Phänomen lokaler Höhenänderungen an der Erdoberfläche. *IX ISM Congres*, 18-22 april 1994, Praha, CZECH Republic, pp. 486-490.

- KRATZSCH H. (1983).
Mining subsidence engineering.
Springer-Verlag. Berlin Heidelberg, 1983, XII, 543.
- NCB (1975).
Subsidence engineer's handbook. National Coal Board, Mining Department, 1975, 111.
- ORCHARD R.J., W.S. ALLEN (1974).
Time dependence in mining subsidence.
Minerals and the Environment, I.M.M., London, 643-659.
- PAQUETTE Y. (1997).
Diagnostic de stabilité et organisation de la surveillance des exploitations partielles abandonnées. Cas des carrières de la région Nord Pas-de-Calais.
Exposé à la Conférence mondiale sur le développement durable des anciens pays charbonniers, Lille, mars 1997.
- PIGUET J.P. (1997).
Affaissements et déformations au-dessus des exploitations minières : mécanismes, conséquences et facteurs influents.
Exposé à la Conférence mondiale sur le développement durable des anciens pays charbonniers, Lille, mars 1997.
- PROUST A. (1964).
Etude sur les affaissements miniers dans le Bassin du Nord et du Pas-de-Calais.
Revue de l'Industrie Minérale, juin-juillet 1964, 46, n° 6 et 7, 68.
- SAXENA N.C. (1991)
Subsidence management in Jharia Coalfield, India. A concept.
Proc. of IVth Inter. Symp. on Land Subsidence, may 1991, 181-193.
- SINGH K.B., N.C. SAXENA (1989).
Subsidence in Kamptee coalfield.
International Symposium on Land Subsidence, India, 11-15 december 1989, 483-496.
- TISON G. (1946).
Les affaissements du sol produits par l'exploitation houillère.
Cours de l'Ecole Technique des Mines de Douai, 39.
- WHITTAKER B.N., D.J. REDDISH (1989).
Subsidence: occurrence, prediction and control.
Elsevier, Amsterdam, 1989, 528.
- YAO X.L. et D.J. REDDISH (1994).
Analysis of residual subsidence movements in the UK coalfields.
Quarterly Journal of Engineering Geology, 27, 15-23.

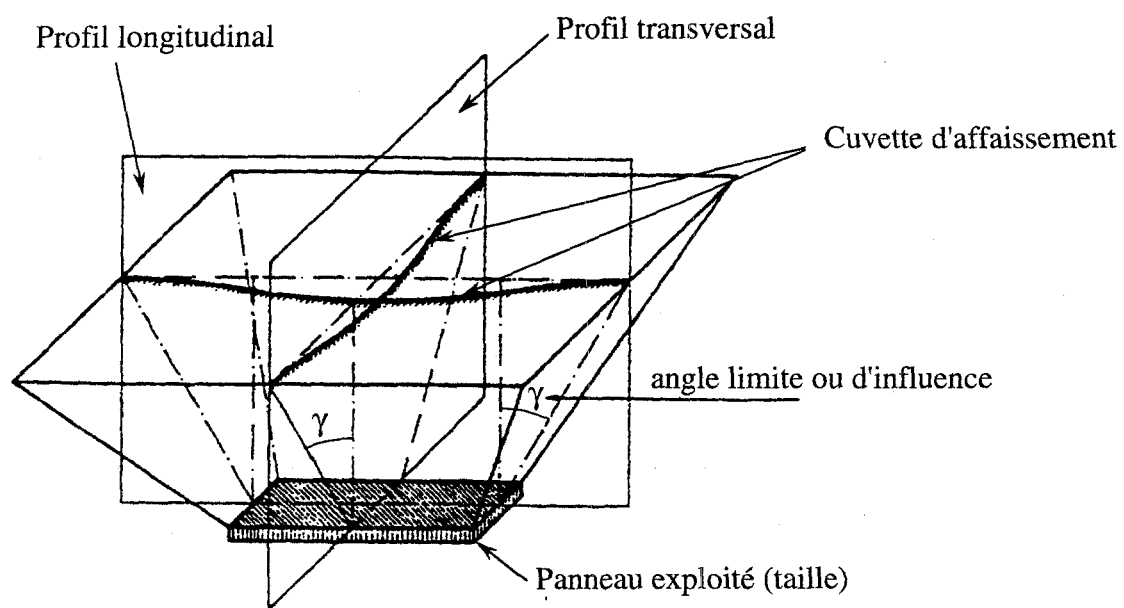


Fig. 1 : Cuvette d'affaissement et angle limite (d'après HBL, 1986)

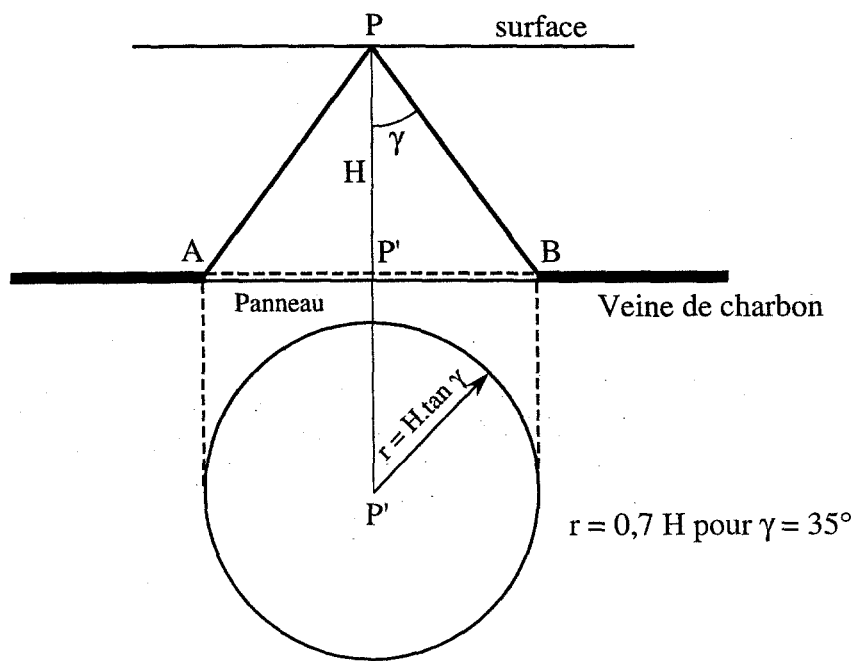


Fig. 2 : Délimitation de l'aire qui influence le point P
(tirée de C. Gard, 1969)

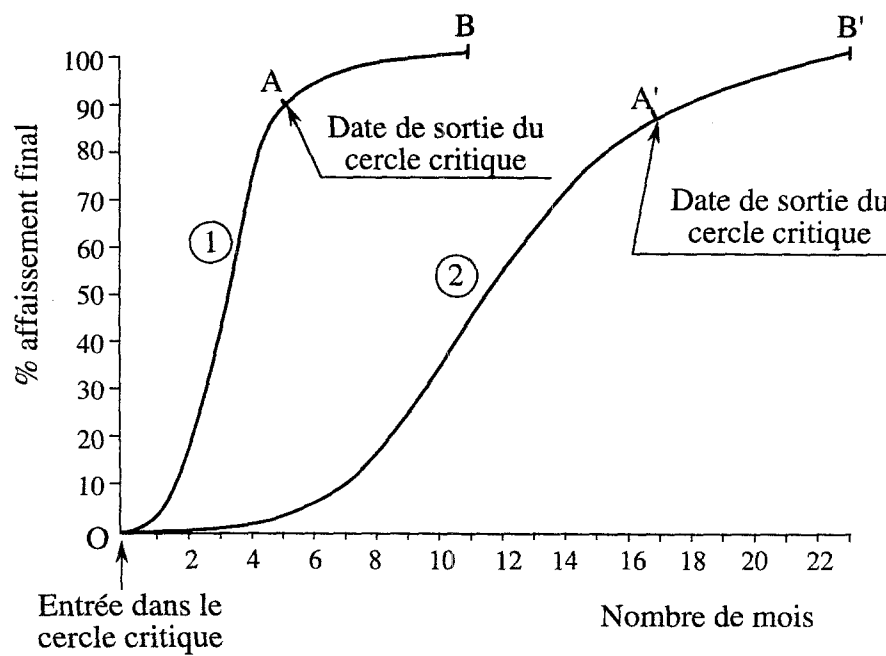


Fig. 3 : Exemples de courbe d'évolution de l'affaissement d'un point de la surface en fonction du temps (tirée de Proust, 1964)

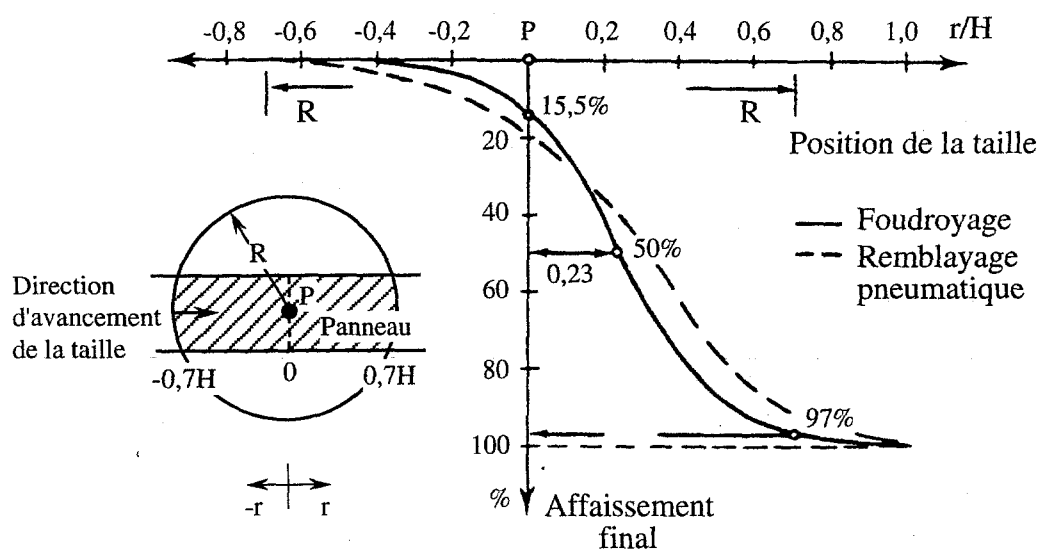


Fig. 4 : Courbe d'évolution de l'affaissement du point P, exprimé en pourcentage de l'affaissement final, en fonction de sa distance r du front d'extraction rapportée à la profondeur H des travaux (d'après NCB, 1975, et tirée de Kratzsch, 1983)

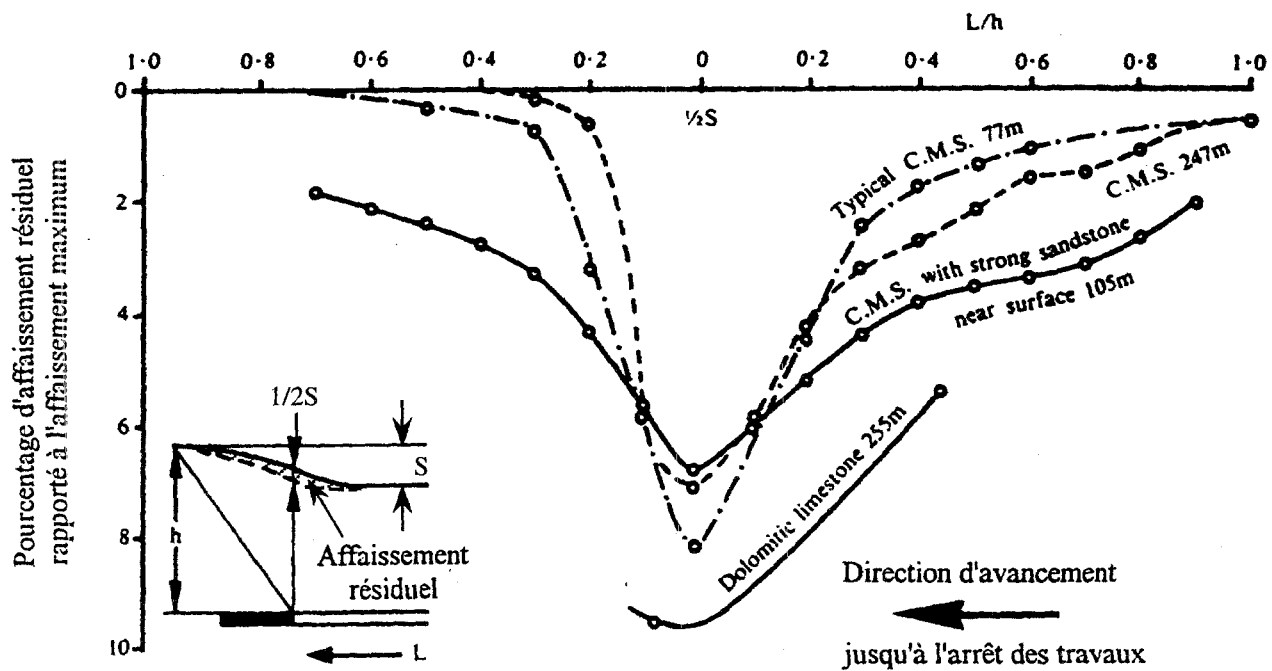


Fig. 5 : Comparaison de profils longitudinaux d'affaissement résiduel, pour différentes natures lithologiques de terrains de recouvrement en fonction de la longueur L du panneau exploité rapportée à la profondeur h .
(d'après Orchard et Allen, 1974 ; tirée de Whittaker et Reddish, 1989)

